

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-189305

(43)Date of publication of application : 10.07.2001

{51}Int.Cl.

H01L 21/3065
H01L 21/027

{21}Application number : 2000-337593

{71}Applicant : AXCELIS TECHNOLOGIES INC

{22}Date of filing : 06.11.2000

{72}Inventor : HAN-QUIGYAN

SAKTHIVEL PALANI

RUFFIN RICKY R

CARDOSO ANDRE G

{30}Priority

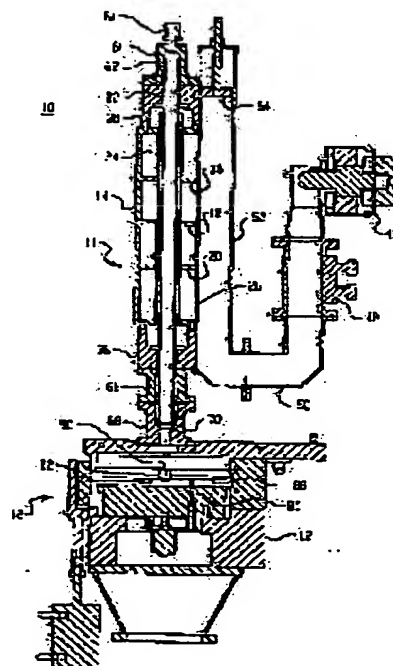
Priority number : 1999 434617 Priority date : 05.11.1999 Priority country : US

{54} METHOD OF DECIDING ENDING POINT OF OXYGEN-FREE PLASMA TREATMENT AND ASHING METHOD

{57}Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a perfect method by which the ending point of ashing for non-oxygen plasma peeling treatment can be detected accurately.

SOLUTION: In this method of deciding the ending point of non-oxygen plasma peeling treatment, used at the working of a semiconductor wafer, and non-oxygen plasma is generated by exciting a gas composition, containing a nitrogen gas and a reactive gas and is made to react to a substrate 88 carrying a photoresist/residues. The ending point is decided by optically measuring the first optically discharged signal of the resulted product of an oxygen-free resection at a wavelength of about 387 nm. When the plasma does not react to the substrate 88 any longer, the generating time of the optically discharged signal



with the wavelength of about 387 nm is decided as the ending point and is displayed that the photoresist/residues are removed from the wafer. It is also possible to decide the ending point by monitoring the second optically discharged signal of the resulted product of the oxygen-free reaction at wavelengths of about 358 nm and 431 nm.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

{Date of sending the examiner's decision of rejection]

{Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

{Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

{Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-189305

(P2001-189305A)

(43) 公開日 平成13年7月10日(2001.7.10)

(51) IntCl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/3065
21/027H 0 1 L 21/302
21/30H
5 7 2 A

審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2000-337593(P2000-337593)

(22) 出願日 平成12年11月6日(2000.11.6)

(31) 優先権主張番号 4 3 4 6 1 7

(32) 優先日 平成11年11月5日(1999.11.5)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500266634

アクセリス テクノロジーズ インコーポ
レーテッドアメリカ合衆国 マサチューセッツ州
01915 ベバリー チェリー ヒル ドラ
イブ 55

(72) 発明者 クイジャン ハン

アメリカ合衆国 メリーランド 21044
コロンビア サウス ウインド サークル
6522

(74) 代理人 100068618

弁理士 専 経 夫 (外3名)

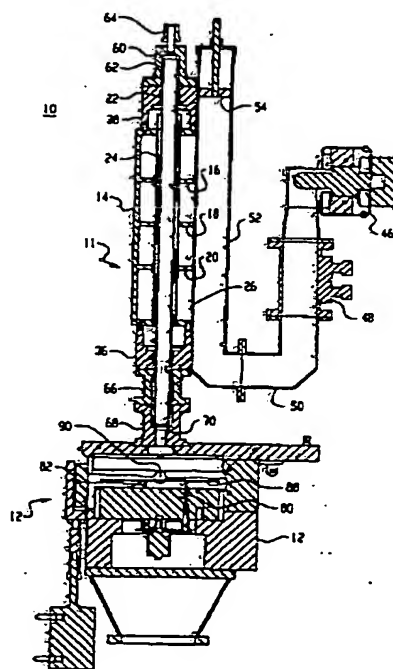
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無酸素プラズマ処理における終了点の決定方法およびアッシング方法

(57) 【要約】

【課題】無酸素プラズマ剥離処理用のアッシング終了点を正確に検出するための万全な方法を提供すること。

【解決手段】半導体ウエハ加工で使用する無酸素プラズマ剥離処理の終了点を決める方法。この方法は、窒素ガスと反応性ガスを含むガス組成物を励起して無酸素プラズマを発生し、このプラズマがフォトリソスト/残留物を有する基板88と反応する。終了点は、約387nmの波長で無酸素反応生成物の第1光放出信号を光学的に測定して決定する。プラズマがフォトリソスト/残留物と最早反応しなくなり約387nmで光放出信号を生じる時を終了点と決めて、ウエハからフォトリソスト/残留物が取り除かれたことを表示する。約358nmと約431nmで無酸素反応生成物の第2光放出信号をモニターして終了点を決めることもできる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】無酸素プラズマ・ストリッピング処理における終了点を決定するための方法であって、窒素ガスと、この他に水素含有ガス、フッ素含有ガス、およびフッ素-水素含有ガス混合物から選択された1つのガスを含むガス組成物を励起して、無酸素プラズマを形成し、

フォトレジストおよび/または残留物を表面上に有する基板(88)に対して前記無酸素プラズマを反応させて、無酸素反応生成物に対応する光放出信号を発生し、前記反応生成物から生じる光放出信号強度を一定の時間にわたって順次記録し、

前記反応生成物の光放出信号強度がもはや検出されなくなったときの時間において前記終了点を決定する、各工程を含むことを特徴とする方法。

【請求項2】前記終了点を決定するために約387nmの波長で光放出信号強度を測定する工程をさらに含むことを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】前記終了点を決定するために約358nmおよび約431nmの波長で第2光放出信号強度を測定する工程をさらに含むことを特徴とする請求項1または請求項2記載の方法。

【請求項4】前記光放出信号強度を測定するための光放出スペクトルスコープを用いる工程をさらに含むことを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項5】前記光放出スペクトルスコープ(92)は、モノクロメータと分光計の中から選択された1つであることを特徴とする請求項4記載の方法。

【請求項6】前記光放出スペクトルスコープ(92)のために用いる装置は、スペクトルフィルタと光検出器の組合せ、モノクロメータ、CCD分光計、光検出機構アレイ、およびスキャンニングモノクロメータの中から選択された1つであることを特徴とする請求項5記載の方法。

【請求項7】前記反応生成物が所定のスレッショルド強度値にあるときに、終了点が宣言されることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項8】前記基板は、この表面に約3.5よりも小さい低誘電率 k を有する材料および/または露出した銅表面を含む半導体ウェハ(88)からなることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項9】前記フッ素含有ガスは、化学式 $C_xH_yF_z$ において、 x が1から4、 y が0から9、 z が1から10の各範囲にある化合物、あるいは NF_3 、 F_2 、 SF_6 からなるグループから選択されていることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項10】水素ガス含有混合物は、窒素ガスと水素ガスからなる形成ガスを含み、前記水素ガスが形成ガス全体の容積の約3%から約5%の量であることを特徴とする請求項1記載の方法。

2

【請求項11】無酸素プラズマ・ストリッピング処理における終了点を決定するための方法であって、

窒素ガスと、この他に水素含有ガス、フッ素含有ガス、およびフッ素-水素含有ガス混合物から選択された1つのガスを含むガス組成物を励起して、無酸素プラズマを形成し、

フォトレジストおよび/または残留物を表面上に有する基板(88)に対して前記無酸素プラズマを反応させて、揮発性の反応生成物を作り出し、

約387nmの波長での前記反応生成物の光放出信号を測定し、このモニターされた光放出信号における観測した変化に応じて前記終了点を決定する、各工程を有することを特徴とする方法。

【請求項12】前記終了点が、モニターされた光放出信号における観察された変化にตอบสนองして決定されるように、約358nmおよび約431nmの波長で前記光放出信号を測定する工程をさらに含むことを特徴とする請求項11記載の方法。

【請求項13】前記光放出信号を測定するための光放出スペクトルスコープ(92)を用いる工程をさらに含むことを特徴とする請求項11記載の方法。

【請求項14】前記光放出スペクトルスコープ(92)のために用いる装置は、スペクトルフィルタと光検出器の組合せ、モノクロメータ、CCD分光計、光検出機構アレイ、およびスキャンニングモノクロメータの中から選択された1つであることを特徴とする請求項13記載の方法。

【請求項15】前記光放出スペクトルスコープ(92)は、モノクロメータと分光計の中から選択された1つであることを特徴とする請求項13記載の方法。

【請求項16】基板(88)からフォトレジストおよび/または残留物を取り除くために用いられる無酸素プラズマ・アッシング処理の終了点を決定するための方法であって、

窒素ガスと、少なくとも1つの反応性ガスを含むガス組成物から無酸素プラズマを発生し、

約387nmの波長で第1光放出信号を測定し、フォトレジストおよび/または残留物を表面上に有する被覆された基板を反応室内に配置し、

前記被覆された基板(88)を前記プラズマに露出させ、前記無酸素プラズマのほぼ電的に中性な反応種を、フォトレジストおよび/または残留物に対して反応させ、約387nmの波長で第2光放出信号を測定し、

前記第1、第2光放出信号がほぼ同一であるとき、前記終了点が検出されるように、前記第1光放出信号と第2光放出信号とを比較して前記プラズマアッシング処理の終了点を決定する、各工程を含むことを特徴とする方法。

【請求項17】前記第1光放出信号は、さらに約358nmおよび約431nmの波長であり、前記第2光放出

3

信号は、さらに約 358 nm および約 431 nm の波長であることを特徴とする請求項 16 記載の方法。

【請求項 18】前記第 2 光放出信号が、ほぼゼロの光放出強度を有する定常状態に到達したとき、前記終了点が検出されるように、前記第 2 光放出信号から前記第 1 光放出信号を引き算する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 16 記載の方法。

【請求項 19】第 1 光放出信号を測定するために、少なくとも 1 つの被覆されない基板 (88) を反応室内に配置する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 16 記載の方法。

【請求項 20】前記第 2 光放出信号強度が所定のスレッシュホールド強度値にあるときに終了点を宣言することを特徴とする請求項 16 記載の方法。

【請求項 21】光放出信号強度を測定するために光放出スペクトルスコープを用いる工程をさらに含むことを特徴とする請求項 16 記載の方法。

【請求項 22】前記光放出スペクトルスコープ (92) は、モノクロメータであることを特徴とする請求項 21 記載の方法。

【請求項 23】前記プラズマに露出中、約 80℃ から約 350℃ の範囲から前記基板 (88) を工程的に加熱する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 16 記載の方法。

【請求項 24】前記基板 (88) は、この表面に約 3.5 よりも小さい低誘電率 k を有する材料および/または露出した銅表面を含んでいることを特徴とする請求項 16 記載の方法。

【請求項 25】基板 (88) からフォトレジストおよび/または残留物を取り除くために用いられるアッシング方法であって、

フォトレジストおよび/または残留物を有する基板を反応室内に配置し、

窒素ガスと、少なくとも 1 つの反応性ガスを含むガス組成物から無酸素プラズマを発生し、

前記フォトレジストおよび/または残留物を、前記無酸素プラズマのほぼ電氣的に中性な反応種に対して露出させ、

前記フォトレジストおよび/またはエッチング後の残留物を、前記中性の反応種と反応させ、約 358 nm、387 nm、および 431 nm で光放出信号を有する副産物を作り出し、

この副産物の前記光放出信号を光学的に測定し、

前記反応副産物からの光放出信号がもはや検出されなくなったときにアッシング工程を停止する、各工程を含むことを特徴とするアッシング方法。

【請求項 26】前記光放出信号を光学的に測定する工程は、光放出スペクトルスコープ (92) によることを特徴とする請求項 25 記載の方法。

【請求項 27】前記光放出スペクトルスコープ (92) 50

4

は、モノクロメータと分光計の中から選択された 1 つであることを特徴とする請求項 26 記載の方法。

【請求項 28】約 3.5 よりも小さい低誘電率 k を有する低誘電率の層を有する基板 (88) からフォトレジストおよび/または残留物を取り除くために用いられる無酸素プラズマアッシング処理の終了点を決定する方法であって、

表面にフォトレジストおよび/または残留物を有する基板を反応室 (12) 内に配置し、

窒素ガスと反応性ガスを含むガス組成物から無酸素プラズマを発生し、

前記フォトレジストおよび/または残留物を、前記無酸素プラズマのほぼ電氣的に中性な反応種に対して反応させて、放出光を作り出し、

前記放出強度スペクトルが約 387 nm の波長を含むように、前記反応中に前記放出された光の放出強度スペクトルを記録し、

前記終了点が約 387 nm の波長で観察可能な変化に応じて検出されるように、前記放出強度スペクトルからプラズマによるストリップ処理の終了点を決定する、各工程を含むことを特徴とする方法。

【請求項 29】前記放出強度スペクトルを測定するための光放出スペクトルスコープを用いる工程をさらに含むことを特徴とする請求項 28 記載の方法。

【請求項 30】前記光放出スペクトルスコープは、分光計であることを特徴とする請求項 29 記載の方法。

【請求項 31】前記放出強度スペクトルは、約 358 nm および約 431 nm の波長をさらに含むことを特徴とする請求項 29 記載の方法。

【請求項 32】無酸素プラズマ・ストリップ処理における終了点を決定するための方法であって、

窒素ガスと、この他に水素含有ガス、フッ素含有ガス、およびフッ素-水素含有ガス混合物から選択された 1 つのガスを含むガス組成物を励起して、無酸素プラズマを形成し、

この無酸素プラズマをフォトレジストおよび/または残留物を表面上に有する基板 (88) に対して反応させて、揮発性の反応生成物を作り出し、

約 358 nm、約 387 nm、および約 431 nm の波長で前記反応生成物の光放出信号の選択された 1 つを測定し、前記観測された光放出信号における観測した変化に応じて前記終了点を決定する、各工程を含むことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般的に、プラズマアッシング装置に関する。更に詳しくは、本発明は、基板からフォトレジスト及び/又は残留物を取り除くのに使用される無酸素 (oxygen free) プラズマ処理の終了点を検出する方法に関する。特に、無酸素プラズマは、

フォトレジスト及び／又は残留物と反応して、プラズマアッシング終了点を決めるためにその時に光学的にモニターされる反応生成物から光放出信号を発生する。

【0002】

【従来の技術】アッシングは、フォトレジスト及び残留物がプラズマに露光されて半導体ウエハ等から剥離又は除去されるプラズマ処理である。アッシング処理は、一般的にエッチング、注入又はデポジション処理が実行された後に行なわれ、この処理において、フォトレジスト材料は、パターンをエッチングするか又はイオンを下地10 基板にデポジションするためのマスクとして使用される。エッチング又はデポジション処理の後にウエハ上に残るフォトレジスト及び残留物は、除去する必要がある。一般的に、アッシング処理用に使用されるプラズマは、成分として酸素を含むガス混合物から発生される。高反応性酸素含有プラズマは、酸化反応によってフォトレジストと残留物を除去する。アッシング操作から生じる酸化又は燃焼生成物は、二酸化炭素や水蒸気のような一般的に揮発性成分であり、ガス流の中に流出する。

【0003】アッシングに関する課題は、フォトレジスト及び／又は残留物が除去されてしまった時点を決める際の正確さである。正確な終了点の検出は、高性能の集積回路を高収率で得るのに重要である。エッチング不足や過剰エッチングは当業者にはよく知られた理由から一般的に望ましくない。例えば、パターン回路の臨界寸法の許容度が極めて小さいので、過剰エッチングは、デバイス性能に悪影響を及ぼすことがある線幅の変動を生じさせる。

【0004】フォトレジスト及び／又は残留物が除去されてしまった時点を決定する際の1つの方法は、フォトレジストとプラズマとの反応をその場でモニターすることである。このことは当業者には一般的に周知の光放出分析法、質量分析法、レーザー干渉分析法、楕円偏光法及びその他の技術のような種々の手段によって達成できる。勿論、光放出分析法は、その他のモニター技術と比較して、汎用的で比較的安価でしかも耐久性があるので最も好ましい。

【0005】光放出分析法に基づいた多くの終了点検出方式は、プラズマ中の化学成分、あるいはプラズマとフォトレジスト及び／又は残留物との反応によって生じた10 光放出信号中の化学成分またはこれら成分の両方のいずれかによって決まる特定のスペクトル線又は領域をモニターすることによって酸素含有プラズマアッシング処理用として定められてきた。OH又はCOの官能性は、フォトレジスト及び／又は残留物の酸素含有プラズマ剥離処理の過程で生成する第1光放出信号なのでこれらの官能性が主にモニターされる。

【0006】最近、酸素含有プラズマで表面化している課題は、このプラズマが銅と最も低いk値の相互接続部とを一緒に使用するには一般的に不適當であることであ15

る。銅と低いk値材料は、デバイス製造業者が0.35 Φ mデザインルールを越えることができるという多くの理由から好ましい。例えば、銅の抵抗率は、小面積で比較的多くの電流を通すことができるアルミニウムより小さいので、高度の計算能力を有する高速で高密度の集積回路及び同等物が可能になる。更に、低いk値の誘電体のような相互接続用の新規の絶縁材料によって相互接続キャパシタンスやクロストークノイズが少なくなるので、回路性能が向上する。低いk値の誘電体は、約3.5未満の誘電率を有するので集積回路等の製造で使用するのに好適な材料として一般的に定義することができる。

【0007】これらの低いk値の誘電体は、大まかに次の4つのカテゴリーに分類することができる：即ち、有機物、ドーピング型酸化物、多孔体及びTEFLEON同等品である。最も低いk値の誘電体は、特に、プラズマの形式において酸素が存在することに耐えられない。上記のカテゴリーの低いk値の誘電体の多くはフォトレジストとほぼ同じ速度でエッチングされるか、或いは優れたエッチング選択性を示すが、酸素含有プラズマに露光する間にk値が上昇することがよく知られている。極めて希薄な酸素混合物を使っても時にはレジスト剥離速度を遅くすることがあっても、このk値の材料では、この課題を克服することができない。

【0008】従って、無酸素プラズマ(oxygen free plasma)を使用することは、フォトレジスト及び／又は残留物を低いk値の材料から除去する際に有効であることが判った。フォトレジスト剥離のこのような1つの無酸素プラズマ処理には、“無酸素プラズマ剥離処理”と言う発明の名称で1999年8月5日に出願された、米国特許出願番号第09/368,553号に開示されていて、この米国特許は、参考文献として本明細書に組み入れられている。フォトレジスト及び／又は残留物を剥離するために無酸素プラズマを使って終了点を検出する光学的方法是やがて定義されなければならない。OH又はCO官能性は、正確な終了点検出のために所望の大きさを有する信号を発生するのに充分ではないので、アッシング終了点を検出する既存の方法は無酸素プラズマを使用する過程での終了点を検出するのに適していない。

【0009】従って、無酸素プラズマでのフォトレジスト及び／又は残留物の除去処理に対するアッシングの終了点を検出する方法が要望されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】このような事情に鑑みて本発明の目的は、無酸素プラズマ処理におけるアッシング終了点を正確に検出するための万全な方法を提供することであり、特に、その終了点の決定方法およびアッシング方法を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため

7

に、本発明は各請求項に記載の構成を有する。本発明の無酸素プラズマ処理における終了点の決定方法は、窒素ガスと、この他に水素含有ガス、フッ素含有ガス、およびフッ素-水素含有ガス混合物から選択された1つのガスを含むガス組成物を励起して、無酸素プラズマを形成し、この無酸素プラズマをフォトリソストおよび/または残留物を表面上に有する基板に対して反応させて無酸素反応生成物に対応する光放出信号を発生し、前記反応生成物から生じる光放出信号強度を一定の時間にわたって順次記録し、前記反応生成物の光放出信号強度がもはや検出されなくなったときの時間において前記終了点を決定する、各工程を含んでいることを特徴としている。

【0012】また、他の構成によれば、窒素ガスと、この他に水素含有ガス、フッ素含有ガス、およびフッ素-水素含有ガス混合物から選択された1つのガスを含むガス組成物を励起して、無酸素プラズマを形成し、この無酸素プラズマをフォトリソストおよび/または残留物を表面上に有する基板に対して反応させて揮発性の反応生成物を作り出し、約387nmの波長での前記反応生成物の光放出信号を測定し、このモニターされた光放出信号における観測した変化に応じて前記終了点を決定する、各工程を有することを特徴としている。

【0013】また、他の構成によれば、窒素ガスと、少なくとも1つの反応性ガスを含むガス組成物から無酸素プラズマを発生し、約387nmの波長で第1光放出信号を測定し、フォトリソストおよび/または残留物を表面上に有する被覆された基板を反応室内に配置し、前記被覆された基板を前記プラズマに露出させ、前記無酸素プラズマのほぼ電氣的に中性な反応種を、フォトリソストおよび/または残留物に対して反応させ、約387nmの波長で第2光放出信号を測定し、前記第1、第2光放出信号がほぼ同一であるとき、前記終了点が検出されるように、前記第1光放出信号と第2光放出信号とを比較して前記プラズマアッシング処理の終了点を決定する、各工程を含むことを特徴としている。

【0014】また、他の構成によれば、フォトリソストおよび/または残留物を有する基板を反応室内に配置し、窒素ガスと、少なくとも1つの反応性ガスを含むガス組成物から無酸素プラズマを発生し、前記フォトリソストおよび/または残留物を、前記無酸素プラズマのほぼ電氣的に中性な反応種に対して露出させ、前記フォトリソストおよび/またはエッチング後の残留物を、前記中性の反応種と反応させ、約358nm、387nm、および431nmで光放出信号を有する副産物を作り出し、この副産物の前記光放出信号を光学的に測定し、前記反応副産物からの光放出信号がもはや検出されなくなったときにアッシング工程を停止する、各工程を含むことを特徴としている。

【0015】また、他の構成によれば、約3.5よりも小さい低誘電率 k を有する低誘電率の層を有する基板か

8

らフォトリソストおよび/または残留物を取り除くために用いられる無酸素プラズマアッシング処理の終了点を決定する方法が示されている。

【0016】さらに、他の構成によれば、窒素ガスと、この他に水素含有ガス、フッ素含有ガス、およびフッ素-水素含有ガス混合物から選択された1つのガスを含むガス組成物を励起して、無酸素プラズマを形成し、この無酸素プラズマをフォトリソストおよび/または残留物を表面上に有する基板に対して反応させて、揮発性の反応生成物を作り出し、約358nm、約387nm、および約431nmの波長で前記反応生成物の光放出信号の選択された1つを測定し、前記観測された光放出信号における観測した変化に応じて前記終了点を決定する、各工程を含むことを特徴としている。

【0017】本発明の方法は、アッシング終了点を精密に決めることにより、過剰エッチングやエッチング不足と関連する諸課題を有効に解決する。更に、本発明の方法は、OH又はCOの普通の遷移を測定することにより予め観察された信号よりもノイズ比に対して遥かに高い信号を有する光放出信号の波長又は波長領域をモニターする。こうしてアッシング終了点は、本来的にノイズを有するシステムの中で使用することができ、このシステムは、ウェハ加熱ランプから放出される光線及びプラズマ自体から放出される光線を含むが、これらに限定されることはない。

【0018】本発明は、フォトリソスト及び/又は残留物を表面上に有する基板を反応室に入れる工程を含む。無酸素プラズマを形成するために、窒素ガスと、その他に水素含有ガス、フッ素含有ガス及びフッ素-水素含有ガス混合物から選択された1つのガスとを含むガス組成物が励起される。無酸素プラズマは、フォトリソスト及び/又は残留物を表面上に有する基板と反応してCO又はOH以外の通常でない遷移を有する反応生成物に対応する光放出信号を発生する。反応生成物から発生する光放出信号強度は、その期間、逐次記録されている。反応生成物の光放出信号強度が最早検出できなくなる時点を終了点と決めることができる。この反応は、特に、無酸素化合物又は無酸素ラジカルを作り出し、これらは、約387nmでの波長で第1光放出信号を、約358nmと約431nmの波長で第2光放出信号を発生する。

【0019】或る実施形態では、約387nmでの第1光放出信号を含む波長領域内の光放出は、CCD型分光計のような分光計に記録される。前記の波長領域内の約387nmの光放出信号の強度が最早検出できないか又はスレッショルド値より低い定常状態に達すると、アッシング終了点は適切なアルゴリズムによって決められてプラズマが停止されるので過剰エッチングは防がれる。波長領域は約358nm及び約431nmでの第2光放出信号を含むのが好ましい。予め定められたスレッショルド値は、フォトリソスト、残留物、およびプラズマと

9

の反応によって生じない第1及び第2波長での光放出信号に寄与する。

【0020】別の実施形態では、約387nmでの特定の波長は、例えばモノクロメータによって光学的に測定される。約387nmの第1光放出信号での第1光放出信号強度は、プラズマと、フォトレジスト及び／又は残留物との反応の前に測定される。第1光放出信号は、プラズマのような光源及びウエハ加熱ランプからの放射線を含むバックグラウンド光線を表す。この第1光放出信号強度の測定過程では、ブラシク、又はダミーウエハが10使用される。次に、フォトレジスト及び／又はその上に残留物を有する基板をプラズマの反応種に露光すると、約387nmでの第2光放出信号が発生する。プラズマの反応種は電気的に中性であるのが好ましい。

【0021】フォトレジスト及び／又は残留物は、無酸素プラズマの反応種と反応して従来とは異なる揮発性生成物を形成するが、この生成物は酸素含有プラズマに露光する過程で形成される生成物とは大幅に異なっている。このような生成物は、約387nmでの第1光放出信号、並びに約358nm及び約431nmでの第2光20放出信号を発生する。アッシング終了点の検出方法は、更に、プラズマが基板に露光される時、約387nmでの第1光放出信号における第2光放出信号強度を測定することを含む。これとは別に、終了点を決めるために第2光放出信号を測定することができる。プラズマ剥離処理のアッシング終了点は、第1光放出信号強度を第2光放出信号強度と比較して決めるが、その場合、前記第1強度と第2強度がほぼ同じ時の終了点が検出される。従って、反応生成物が最早生成しなくなりつつある時に、アッシング終了点が決定される。この指示は、検出可能30な光放出信号を発生するには、フォトレジスト及び／又は残留物がもはや十分に存在しない程度になっていることを示している。

【0022】本発明を使うと、いずれの無酸素プラズマ処理のアッシング終了点も決めることができるが、その場合、正確な終了点検出には所望の大きさを有する検出可能な光放出信号を発生するほどに、CO及びOHの通常の遷移が充分に起こらない。ガス組成物の特定の成分は、プラズマ形成条件でのガスとプラズマを生成する能力と、よくあることだが、低いk値の材料に悪影響を及40ぼさないことの両方によって選ばれる。好ましくは、無酸素プラズマを発生するガス組成物は、窒素ガスと反応性ガスを含んでいる。また、反応性ガスは、無酸素プラズマを形成するために、水素含有ガス、フッ素含有ガス、及びフッ素-水素含有ガス混合物から選択された1つであることが望ましい。いずれの反応性ガスの混合物、即ち、フッ素含有化合物又は水素含有化合物に窒素が含まれていない場合、処理ガスとして別に窒素が加えられる。これらの成分は一緒にされてガスとしてプラズマアッシャーに加えられる。

10

【0023】プラズマとフォトレジスト及び／又は残留物との反応過程で光放出信号を光学的に測定する方法は、光検出器を利用することが好ましい。本発明で使用するのに好適な装置にはモノクロメータ、分光計等が挙げられる。本発明で使用するのに好適なその他の分光学的方法は、本開示内容からみて当業者には明らかであろう。本発明は、いずれの特定の光放出分光手段またはフィルターに限定するように意図されていない。一般的に、種々の分光計の違いは、モニターされる波長領域、及び問題の放出された反応種からバックグラウンド光線を見分ける識別能力(differentiation capability)である。種々の分光計の構成配置等を使ってプラズマとフォトレジストと残留物との反応から光放出される光線からバックグラウンド光線を識別する方法を決めることは当業者内では周知である。

【0024】本発明のこれら及びその他の目的、長所並びに特徴は、付図を参照して説明する、本発明の詳細な説明から更によく理解されるだろう。

【0025】

【発明の実施の形態】本発明は、一般的に、フォトレジスト及び／又は残留物を半導体ウエハ等のような基板から除去するために、無酸素プラズマを使用するプラズマ剥離処理の終了点の検出方法に関する。

【0026】無酸素プラズマは、無酸素処理ガスを励起して、フォトレジスト及び／又は残留物と反応させて、中でも、揮発性生成物(副産物)を生成する反応性プラズマを形成することによって発生する。この副産物は、酸素含有プラズマを用いると観察される通常の遷移、即ちOHとCOと関連がある遷移を含まない。

【0027】本発明の無酸素プラズマは、無酸素ガス中に窒素が存在することが必要である。窒素は、反応性ガスの混合物の一部として、又は別の処理ガスとして加えることができる。或る実施形態では、無酸素プラズマと、フォトレジスト及び／又はポストエッチング残留物との反応によって生成する約387nmでの第1光放出信号を発生する特定の揮発性副産物を含む波長領域をモニターすることによって終了点が決められる。必要に応じて、約358nmと431nmの波長での第2光放出信号は、約387nmでの第1光放出信号と組み合わせ、或いは独立してモニターすることができる。どちらの実施形態の反応をモニターする手段も、モノクロメータ若しくは分光計又はその他の分光モニターを使用する等によった光放出分光法によるのが好ましい。一般的に、モノクロメータは、スペクトルの狭い部分を分離するのに対して、分光計は波長の広い領域を測定できる。

【0028】プラズマとフォトレジスト及び／又は残留物との反応は、中でも、約387nmの波長で少なくとも1種の検出可能な第1光放出信号、及び約358nmと431nmの波長で第2光放出信号を発生する無酸素化合物又は無酸素ラジカルを生成する。終了点の検出方

法は、中でも例えば分光計によって約387nmの波長での第1光放出信号を含む波長領域をモニターする工程を含むのが好ましい。波長領域、即ちモニターされる波長は約358nmと約431nmでの第2光放出信号を含むのが好ましい。第2光放出信号は、第1光放出信号より低い信号強度を有するので、約387nmでの第1光放出信号を発生する同じ反応副産物によって発生すると考えられる。約358nm、約387nm又は431nmにおいて基板上でプラズマとフォトレジスト及び/又は残留物との反応からの光放出信号強度が最早検出されない時にアッシング処理の終了点が決められる。光放出信号強度が最早反応から検出されないと、特に約387nmの第1波長ではアッシング工程の終わりを表す信号がプラズマアッシャーの制御装置へ送られる。

【0029】予め定められたスレッシュホールド値は、約387nmでのバックグラウンド光線の量、或いはCCD型分光計を使用する場合は波長領域を超えて、一般的に決定される。バックグラウンド光線は、プラズマから光放出される光線、反応室の中でのプラズマと不純物との反応から出る光線、迷光、或いは加工工程でのウエハを加熱するのに使用することがあるランプから光放出される輻射エネルギーを含むこれらに限定されないいろいろな光放出光線から発生できる。

【0030】モノクロメータで構成されたプラズマアッシャーの場合、バックグラウンド光線の量は、ブランク又はダミーウエハをプラズマ・リアクターに通した後、問題とする光放出信号を含む波長を光学的に測定することによって容易に測定できる。バックグラウンド光線を検出するためにブランク又はダミーウエハを使用することは、これを使用して得られる条件が塗布されたウエハの加工過程で使用される本当の条件を代表しているので好ましい。その時、バックグラウンド光線はスレッシュホールドを決めるのに使用できるが、その場合、光放出信号が予め定められたスレッシュホールドに達した時にアッシング終了点が決められる。

【0031】CCD型分光計のような分光計が構成されたプラズマアッシャーの場合、分光計時間は、無酸素プラズマと、フォトレジスト及び/又は残留物との反応から生成される生成物に相当する光放出信号を含む光放出スペクトルを逐次的に記録する。約387nmでの波長はモニターされて、本発明で問題とする第1信号に対応するのが好ましい。約358nm及び431nmの波長での第2光放出信号を使っても、第1光放出信号と組み合わせても或いは独立して終了点を決めることができる。前記波長領域にわたるバックグラウンド光線は、当業者には周知の方法によって、アッシング加工過程でリアルタイムに光放出スペクトルから除外することができる。モノクロメータに関して前述したブランク又はダミーウエハを使用するニーズは失われている。約387nmでの光放出強度がほぼゼロの強度で定常状態に達した

時にアッシング処理の終了点を検出できる。

【0032】無酸素プラズマガスの特定の成分は、プラズマ形成条件でガス及びプラズマを形成する能力によって選ばれ、そして多くの場合、低いk値の材料に対するダメージが少ないことによって選ばれる。本発明で使用するのに好適なプラズマには、特に窒素を含んでいる。好ましくは、プラズマガス成分は、窒素ガスと、この他に水素含有ガス、フッ素含有ガス、およびフッ素-水素含有ガス混合物から選択された1つのガスを含むガス混合物であり、この混合物がプラズマアッシャーに加えられる。無酸素プラズマは、フォトレジスト化合物及び/又はポストエッチング残留物の中の炭素及びその他の原子と先ず反応してプラズマ反応室で存在する条件で揮発性化合物を生成する。更に、無酸素プラズマは、残留物の中に埋められたシリコンを通常含んでいるポストエッチング残留物を除去するにはこれまで難しかった上記炭素やその他の原子と反応する。

【0033】好ましい無酸素プラズマガス組成物は、特に、銅と低いk値の誘電体を採用している集積回路と一緒に使用する時は、フッ素含有ガス、水素含有ガス及び窒素ガスの混合物である。この組み合わせは、フォトレジスト、及び露光された誘電体層を有する基板上で誘電体エッチング剥離速度に対するフォトレジスト剥離速度の選択性を高めるのに充分な反応種を発生するのに極めて有効である。

【0034】好ましいフッ素含有化合物は、プラズマによって励起されるとフッ素の反応性種を発生する化合物を含んでいる。好ましくは、フッ素含有化合物は、化学式 $C_xH_yF_z$ (式中、xは1から4、yは0から9、そしてzは1から10の範囲である)、 NF_3 、 F_2 及び SF_6 を有する化合物からなる群の中から選択される。その他のフッ素含有化合物は本開示内容からみていずれの当業者にも明らかであろう。フッ素含有化合物は CF_4 又は CHF_3 が好ましい。このフッ素化合物は、エッチングの選択性を最大にするために、全組成物量の約10%未満であることが好ましい。フッ素含有化合物は、容積が約10パーセントを超えると、重合が起こり、フォトレジストの除去が難しくなることが判った。更に、予期しないことに、フッ素含有ガスを水素含有ガスと組み合わせると、除去速度が高まることがわかった。一般的に、水素含有ガスをフッ素含有ガスと混合すると、フッ素ラジカルが水素によって捕捉されることにより、フッ化水素が形成される。プラズマ中のフッ化水素は、二酸化シリコンのような一般的な誘電体における除去効率を低下させるということが当業者には知られている。従って、低いk値の誘電体の存在で残留物の除去効率を増大するのを観察するのは予期できなかった。

【0035】水素含有化合物は、例えば、炭化水素、ハイドロフルオロカーボン、水素ガス、水素ガス混合物または同等物等の水素を含む化合物を含んでいる。好適な

13

水素ガス混合物は、水素含有化合物及び窒素、あるいはそれとは別に、水素含有化合物とアルゴン、ネオン、又はヘリウムガスのような非反応性ガスとの混合物を含んでいる。使用される水素含有化合物は、剥離処理の選択性を高めるのに重要な役割を有する。

【0036】好ましい水素の先駆物質ガスは、ガス状態で存在し、そして水素を遊離してプラズマ形成条件のもとでフリーラジカル又は水素イオンのような反応性水素種を生成するガスである。このガスは置換されていない炭化水素でもよく、又は臭素、塩素若しくはフッ素のよ¹⁰うなハロゲン、又は酸素、窒素、ヒドロキシル基及びアミン基で部分的に置換されていていてもよい。この炭化水素は、少なくとも1個の水素と、1個から12個の炭素原子を有するのが好ましく、そして3から10個の炭素原子を有するのが最も好ましい。好適な水素含有ガスの例にはメタン、エタン、アンモニア、及びプロパンが挙げられる。

【0037】好ましい水素ガス混合物は、水素ガスと不活性ガスを含む混合ガスである。不活性ガスの例には、アルゴン、ネオン、ヘリウム等が挙げられる。特に好²⁰ましい水素ガス混合物は、水素ガスと窒素ガスから本質的に成る所謂、フォーミングガスである。本発明で使用するのに特に好ましいのは、フォーミングガスであって、水素ガスが全フォーミングガス組成物の容量の約3〜5%であり、その限界では、プラズマアッシャーの作動中において、安全のみが考慮されている。

【0038】窒素がいずれの反応性ガス、即ちフッ素含有化合物又は水素含有化合物の混合物の中に含まれない場合、処理ガスに、窒素が別個に加えられる。これとは別に、プラズマを発生させるために別の無酸素プラズマ³⁰ガスを使用することができる。前述のように、別の無酸素プラズマガスの特定の成分は、プラズマ形成条件でガスとプラズマを生成して処理ガスの1成分として又は処理ガスとの混合物として窒素を含む能力によって選択される。例えば、このガスは2種類以上のガス又は個別のガスの混合物でもよい。本発明は、いずれの特定の窒素含有無酸素ガスプラズマに限定することを意図していない。特に、無酸素プラズマは、フォトレジスト及び/又は残留物と反応して酸素含有プラズマによって一般的に生じる反応生成物とは異なる反応生成物を生じる。その⁴⁰時は約387nmでの対応する第1光放出信号を含む波長又は波長領域は、アッシング終了点を決めるためにモニターされる。本発明で使用するのに好適な別の無酸素ガスプラズマ組成物は、本開示内容からみて当業者には明らかであろう。

【0039】終了点の検出方法は、プラズマ処理の変数とは無関係のままで変らない。しかしながら、当業者には周知のように、除去速度を更に最適化することができる。例えば、プラズマ室の圧力は、約0.5トル(torr)から約10トルへと変更でき、電力は約500Wから⁵⁰

14

約2000Wまで調節でき、アッシング過程でウエハは約80℃から約350℃まで段階的に加熱してもよく、或いは全ガス流量は約500cm³(標準状態)から約9000cm³(標準状態)まで調節できる。これらのいずれの条件のもとで発生する無酸素プラズマはフォトレジスト及び/又は残留物と反応すると、358nm、387nm及び431nmで光放出信号を発生するが、その時はこれらの信号は引き続いて個別に又は組み合わせてモニターしてアッシング工程の終了点を決める。アッシング終了点を決めるために約387nmでの第1光放出信号をモニターするのが好ましい。

【0040】フォトレジストは、一般的に、画像を下地基板へ転写するために使用される有機感光性薄膜である。本発明は、g-線、i-線、DUV、193nm及び157nmの適用の際に使用されるフォトレジストを剥離するのに一般的に適用できる。本発明は、以下に限定されないが、ソボラック、ポリビニルフェノール、アクリレート、アセタール、ケタール、環状オレフィン類を含んでいる。その他の好適なフォトレジスト配合物は、本開示内容からみて当業者には明らかであろう。フォトレジストは、選ばれるフォトレジストの化学的性質や現像液によってポジ型でもネガ型でもよい。

【0041】ポストエッチング残留物やポストデポジション残留物は、一般的に初期処理工程で残留物が剥離用プラズマに対して更に耐えるような化学変化を行なったフォトレジストであると思われる。ポストエッチング残留物には、側壁付着物として知られる残留物が挙げられる。この化学変化は、プラズマリアクターライニング(plasma reactor lining)又はウエハの成分がフォトレジストと反応してポストエッチング残留物を生成する、初期誘電体エッチング工程の結果として起こるか、またはプラズマ処理中に発生した反応種から生じると考えられる。

【0042】一般的に、窒素が存在する中で無酸素プラズマを発生することによって形成される反応種は、酸素含有プラズマの中に一般的に形成される反応生成物とは異なる。フォトレジスト及び/又は残留物を除去するプラズマガス混合物によって発生した反応種は、反応して揮発性生成物を形成する。プラズマを使って残留物を除去する別の方法には、基板との付着を弱めること、又は残留水分を除去できるようにすることが挙げられる。引き続いて、この残留物は、脱イオン水ですすぐ工程で除去が可能である。フォトレジスト及び/又は残留物との反応からの揮発性反応生成物が最早発生しなくなるまでこの剥離処理は続く。本発明で問題となる反応副産物は、約387nmで第1光信号を発生する副産物である。それとは別に、約358nmや約431nmでの第2光放出信号は、アッシング終了点を決めるために約387nmでの光放出信号と組み合わせることも、あるいは別個に使用することもできる。

【0043】本発明で使用するのに特に好適なプラズマアッシャー装置は、例えば、ダウンストリーム型プラズマアッシャーであり、これは商品名GEMINI ESで、イートン(Eaton)社から市販されている。マイクロ波プラズマアッシャーの一部分は米国特許第5,498,308号及び第4,341,592号並びに国際特許公開WO/97/37055号に記載されており、これらは参考文献として本明細書に組み入れられている。本発明は、本実施形態又は次の実施形態のいずれも特定のプラズマアッシャーにも限定されない。例えば、誘導10結合プラズマリアクターを使用することができる。

【0044】さて、図1と図2を詳細に見ると、参照番号10で全体的に表示したマイクロ波プラズマアッシャーが示されており、このアッシャー10は、無酸素プラズマを使って処理するフォトレジスト及び/又はポストエッチング残留物の除去方法を実施するのに好適なものである。図示されているプラズマアッシャー10は、プラズマ発生室11及びプラズマ反応室12を含む。

【0045】プラズマ発生室はマイクロ波エンクロージャ14を含む。このマイクロ波エンクロージャは、中を20通り抜けるプラズマ管22を有する区画16、18及び20に仕切られた1個の長方形の箱である。各区画は、プラズマ管が通り抜ける開口部を有する。各区画には、マイクロ波エネルギーが供給される。従って、各区画は、入力するマイクロ波エネルギーには比較的短い空洞であり、方位及び軸上の均一性を有するモードが形成され易い。外側管24は空洞内のプラズマ管を取り囲んでいる。この外側管はプラズマ管から僅かに離れていて、これら2本の管の間に正の空気圧が供給されるのでプラズマ管の冷却が効率良く行なわれる。管24はサファイア30で作られるのが好ましい。石英、アルミナ、又はアルミナ被覆石英のようなその他のプラズマ管材料が使用できる。

【0046】同心管が通り抜けている区画16、18及び20の開口部はプラズマ管の外側寸法より大きく作られている。管の中でプラズマが均一に励起されるような開口部を通してマイクロ波の伝送が行なわれる。このような伝送によってプラズマ管の中の熱勾配が小さくなる。外側管が使用されない場合(冷却は或る別の方法で行なわれる)、前記のマイクロ波の伝送が可能なよう40に、プラズマ管と区画の間に隙間が存在するような大きさでこの区画の開口部は作られている。図1には外側管と区画との間の隙間が示されている。

【0047】マイクロ波構造体の開放側を覆う絞り板(iris plate)26も示されていて、マイクロ波エネルギーを隣接する区画へ効率よく供給する。この板26はマイクロ波エネルギーが通り抜ける絞り板28、30、32、34を含む平らな金属板である。

【0048】マイクロ波トラップ36と38は、マイクロ波の伝送を防止するために端部に取り付けられてい50

る。このようなトラップは本明細書に参考文献として組み入れられている米国特許第5,493,308号に開示されている型式のものでよい。エアシール/方向性フィード40、42は、冷却空気を導入して、同心管の間の隙間にその空気を供給するために取り付けられている。エアシール/方向性フィード44は、出口側にあり、このような装置の第4のフィードもあるが、図面上では見えない。

【0049】マグネトロン46が、カプラ48を介して導波管にマイクロ波電力を供給する。この導波管は、TE₁₀モードを供給し、かつ互いに直交する区画50と52を有している。導波管の区画52の長さは、移動可能なプランジャー54によって調節可能である。導波管の区画52の底板は絞り板26であり、この絞り板は、マイクロ波エネルギーを区画されたマイクロ波構造体14の中へ結合させ、この構造体を貫通するプラズマ管22が延在しており、その結果、プラズマはプラズマ管の中を流れるガスの中で励起される。

【0050】再度、図2を見ると、末端キャップ60が、マイクロ波トラップ38と継手64に隣接して配置され、継手は、ガスをプラズマ管に導くための中央オリフィスを有して末端キャップに伸びていることがわかる。ガスの供給は、外部流量ボックス(図示略)によって調整される。

【0051】プラズマ管は、末端キャップの中のリング62により管の端部で支持されている。外側管24はマイクロ波トラップ36と38の両方で接する受面により管端部で支持されている。加工室に対して適切な間隔を保つようにスペーサ66がある。プラズマ管の別の端部は端部部材68の中にあり、ガスを加工室へ放出するためのオリフィス70を備えている。

【0052】マイクロ波エンクロージャ14は、長方形TM₁₁₀モードを支持するような寸法で作られていて、かつ正方形断面を有することが可能である。この断面の寸法は、TM₁₁₀モードが共振するような寸法である。各区画の長さは、 $\lambda_g/2$ 未満であり、この場合、 λ_g はTE₁₀₄モードの空洞内部のガイドの長さである。

【0053】プラズマ反応室12は、処理されるべきウエハ88を支持するウエハ支持ピン80と82を含んでいる。これとは別に、チャック(示されていない)を使用することができる。加熱は、ウエハの下に配置されて列を成すタングステンハロゲンランプ(示されていない)で行なうことができる。好ましくは、基板はアッシング過程で約80℃から約350℃まで加熱される。より好ましくは、基板は、段階的に次々と昇温することにより加熱される。加熱によりプラズマとフォトレジスト及び/又は残留物との反応速度が増すので処理量が増えることが判った。1個以上のパッフルプレート(示されていない)がウエハの上にあると、プラズマがウエハ表面に均一に分布しやすくなる。

17

【0054】反応室の側壁には石英又はサファイアのような透明な材料で作られた光学開口部90が取り付けられている。この開口部はウエハ平面にほぼ平行な光路が形成されるように構成されかつ配置されている。無酸素プラズマの光放出スペクトルはこの開口部を通過する。集光部品（示されていない）は、この窓の外側でかつ後方に配置されているので、通過する光放出スペクトルを集めることができる。更に、分光計又はモノクロメータ（一般的に図3の92のように示される）は、集光部品からの光を受け入れるように配置されている。

【0055】光放出分光装置とその方法は一般的によく知られていて多くの刊行物で説明されている。或る実施形態では、光放出分光法は、CCD（電荷結合デバイス）型分光計のような分光計によるものであり、その時間は逐次的に波長領域を記録して後続の解析のために光放出スペクトルをアナログ信号へ変換する。必要に応じて、狭帯域フィルタを使うとCCD又はフォトダイオードアレイのような光検出器によって問題の特定の波長領域を評価することができる。分光計時間は逐次的に、アッシング処理過程で放出される光信号を、電気的アナログ信号に変換して次にそのアナログ信号は当業者には周知の方法を使って解析されて所望の出力を発生することができる。このデータはリアルタイムで見られるのが好ましい。このデータは対象とする波長領域でのプラズマ加工過程での光放出強度の時間経過を示すグラフの形で見られるのが好ましい。

【0056】これとは別に、別の光学検出器を使用することができる。例えば、前述のようにモノクロメータを使ってデータを集めることができる。当業者には周知のようにモノクロメータを光電子増倍管、又はフォトダイオード等と一緒に構成して、約387nmの狭いスペクトルの光放出信号を記録することができる。

【0057】このような光放出分光装置とプラズマ反応室内での好適な構成は本開示内容から見て当業者には明らかであろう。本発明で使用するのに好適なモノクロメータの例は、アメリカ合衆国に在所するベリティー(Verity)社から市販されている型番EP200MMDである。本発明で使用するのに好適な走査モノクロメータの例には、ベリティー社から市販されている型番EP200SMDが挙げられる。本発明で使用するのに好適なCCD型分光計の例は、ベリティー社から市販されている型番SD1024、及びアメリカ合衆国に在所するオプティックス(Ocean Optics)から市販されているシリーズ品PC2000のCCD型分光計である。

【0058】本発明で使用するのに好適な光検出器系列の例は、ドイツ国に在所するプレマ(Prema)社から市販されている型番SPM9001である。無酸素プラズマ処理の終了点検出方法は、約387nmでの光放出強度信号の変化をモニターする機能が必要である。必要に応じて、前述のように約387nmでの反応副産物に対応

18

する約358nmと約431nmでの第2波長は、組み合わせても個別的にもモニターすることができる。

【0059】図3を見ると、本装置の外観が示されている。図3の照合番号はその他の図面で使用される参照番号と一致する。操作に当たっては、フォトレジスト及び/又はその上のポストエッチング残留物を含む半導体ウエハ88は、ウエハ支持ピン80と82に乗せて反応室12の中へ入れられる。このウエハは、フォトレジスト及び/又はポストエッチング残留物とプラズマとの反応を加速するために加熱するのが好ましい。反応室の内部の圧力は減圧される。この圧力は約1トルから約5トルの間で維持するのが好ましい。

【0060】ガス成分の1つとして窒素を含む励起可能な無酸素ガスは、ガス入口13（図3に示されている）を経由してプラズマ発生室11のプラズマ管22の中に供給される。各区画16、18、20は、プラズマ管内でプラズマを励起するためにマイクロ波エネルギーが供給されており、このプラズマは電気的に中性な粒子と荷電粒子とから成る。荷電粒子は、プラズマが反応室に入る前に選択的に除去することができる。

【0061】励起された、即ちエネルギーを持つガスの原子は、反応室の中に供給されてフォトレジスト及び/又はポストエッチング残留物と反応する。無酸素プラズマは、フォトレジスト及び/又はポストエッチング残留物と反応して揮発性生成物を形成する。特定の反応生成物は、分光計、モノクロメータ等のような光放出分光手段（スペクトルスコープ）92により光学的にモニターされる。揮発性ガスが光学的開口部90を通り過ぎるように、反応室内でガスを掃引することによりこのガスはウエハ表面から絶えず一掃される。

【0062】CCD型分光計で構成されたプラズマアッシャーの場合、CCD型分光計が作動する時間において光放出スペクトルを逐次記録し、このスペクトルは、これが放出されているときは、約387nmに対応する光放出信号を含んでいる。モニターされる光放出スペクトルの波長領域は、使用されるCCD型分光計のタイプ、及び或る波長の光放出がCCD型分光計へ達しないようにするのに用いるフィルターの存在によって決定される。

【0063】CCD型分光計の構成は、バックグラウンド光線、及びアッシング処理過程で光放出される種からの光線を同時に記録する。当業者には周知の標準のアルゴリズムを使うと、バックグラウンド光線はプラズマとフォトレジスト及び/又は残留物との反応から生成する光線から差し引くことができる。一旦、光放出ピークが強度値の変化を記録して、最少の予め定められたレベルでの定常状態に達すると、フォトレジスト及び/又は残留物の除去は完了し、その次に信号は制御装置94へ伝送されてプラズマは停止される。真空が解除されて加工されたウエハは反応室から取り出すことができる。必要

19

に応じて、脱イオン水ですすぐと、剥離されたウエハ上に残っているあらゆる残留物が除去される。

【0064】モノクロメータ付きのプラズマアッシャーでは、ブランクの未塗布ウエハは、先ず反応室内で露光されて約387nmでの第1光放出信号が測定される。この第1光放出信号は前述のようにバックグラウンド光線を表す。次に、フォトレジスト及び／又はその上に残留物を有する基板は、反応室の中で無酸素プラズマに露光される。約387nmで光放出する第2光放出信号がモノクロメータで記録される。バックグラウンド光線の第1光放出信号は、この第2光放出信号から引き算される。約387nmでの第2光放出信号が定常状態に達してほぼ第1光放出信号以下になると、アッシングは終了点に達しており、その時の信号はプラズマアッシャーの制御装置94に送られてプラズマは停止される。その次に真空が解除され、加工されたウエハは反応室から取り出される。次に、必要に応じて脱イオン水ですすぐと、剥離されたウエハ上のあらゆる残留物が除去される。

【0065】約358nm、387nm及び431nmの第1、第2光放出信号で反応副産物をモニターするためのその他のモノクロメータ、分光計等の構成及び操作は、本開示内容から見て当業者には明らかであろう。

【0066】次の実施例は、フォトレジストを除去するための無酸素プラズマの使用過程でのアッシング終了点の検出方法を詳細に説明している。この詳細な方法は前述の、より一般的な説明の方法の範囲内であり例示に役立つ。本発明の実施形態は例示だけを目的としていて、本発明の範囲を限定するものではない。例えば、プラズマアッシャーは、別の分光計又はモノクロメータと一緒に構成すると、約387nmでの第1光放出信号を含む30光放出信号をモニターすることができる。

【0067】(実施例1) 次の実施例では、DUVフォトレジストを3000rpmで多重シリコンウエハに塗布した。このフォトレジストは商品名UV-1.6で購入したものであり、シップレイ(Shipley)社から市販されている。130℃で45秒間、真空ホットプレート上で各ウエハをベーキングした後、約10,000オングストロームの厚さで不粘着性のフォトレジスト薄膜を得た。CCD型分光計を取り付けるように構成された反応室を付けてイトン社から購入できるFusion Gemini E40 S Plasma Asherを使って、このフォトレジスト薄膜をマイクロ波プラズマに露光した。プラズマ室の電力は3.0トルの室内圧力で1800Wに設定した。ウエハは2500cm³(標準状態)のガス流量でフォーミングガスから発生するプラズマに露光した。使用したフォーミングガスは水素ガスと窒素ガスとの混合物であり、水素ガスは全フォーミングガス混合物の容量の3%であった。ウエハは300℃の温度に加熱した。プラズマとフォトレジストとの反応過程で放出する光は、ウエハ表面にほぼ平行の光路を形成する反応室の側壁の窓越しに配50

20

置されたCCD型分光計によって収集した。200ないし500nmの範囲の波長スペクトルは、CCD型分光計で記録したが、このCCD型分光計はプラズマ処理の毎秒のうちの50ミリ秒間の光放出信号を収集した。

【0068】図5及び図4は、無酸素プラズマを用いたアッシング過程での200nmから500nmで放出される光強度の時間経過を示すグラフである。図4に示しているデータはCCD型分光計で収集したけれども、図4は、バックグラウンド光線を差し引くことなく、モノクロメータで構成されたプラズマアッシャーで得た種類のデータを表している。

【0069】際立った信号が約387nmで観測される。このデータはアッシング終了点が約t=155で起こることを示唆している。即ち、155秒のアッシングが済むと、プラズマとフォトレジスト及び／又はポストエッチング残留物との反応は完結した。155秒の後では、検出可能な光放出は記録されず、過剰エッチングを防ぐためにプラズマの電力を停止する。この試料のデータは、387nmでのスレッシュホールドが250の光放出強度単位で設定できることを示唆している。

【0070】同じような条件を使った製造環境では、約387nmでの光放出信号はスレッシュホールドより低い定常状態に達すると、プラズマを停止する制御装置へ信号が送られる。従って、アッシング終了点の正確な決定が可能となる。図5は波長が約400nmから500nmへ増加するにつれて光放出強度が徐々に増加することを示していて、この増加は加工過程でウエハを加熱するのに使用するランプによって生じる主に広帯域放射によって起こる。図5も、約358nmと431nmでの第2信号を示している。

【0071】(実施例2) 本実施例では、多重シリコンウエハを、底部反射防止層の薄い層で、次に5000オングストロームのフォトレジストで塗布して、フッ素含有ガスと窒素ガスを含む処理ガスから発生した無酸素プラズマに実施例1と同じ条件のもとで露光した。フッ素含有ガスは、CF₄であった。

【0072】図6は、プラズマ処理過程で測定した約387nmの波長でモニターした時間の関数とした光放出強度を示すグラフである。終了点は約42秒で起こり、フォトレジストを取り外した後、過剰エッチングを防ぐためにプラズマの電源を停止したことを示している。各実施例で示されたデータを比較すると、フォーミングガスで発生したプラズマによるフォトレジストの除去には約155秒が必要であるのに対して、フッ素含有ガスでのプラズマ露光でのフォトレジストの除去は42秒であり効率が良いことは明らかである。

【0073】図7は、実施例2で説明した処理による無酸素プラズマ剥離処理の前と後のコンタクトホール断面図と平面図を示す走査電子顕微鏡写真の絵画図である。底部の反射防止有機塗料の薄い層の上に塗布された

21

DUVフォトリソスト層に慣用のリソグラフィ方法を使って先ずコンタクトホールをパターン化した。基板は、薄い窒化物層、水素シルセスキオキサン (hydrogen silsesquioxanes) (HSQ) の層、及びテトラエチルオルトシリケート (tetraethylorthosilicate) (TEOS) の層をその上にデポジション又は塗布しているシリコンウエハであった。図7の“前”走査電子顕微鏡写真 (SEM) で示すように、慣用のプラズマ処理を使ってパターン化されたレジストを通して基板に入るコンタクトホールをエッチングする。

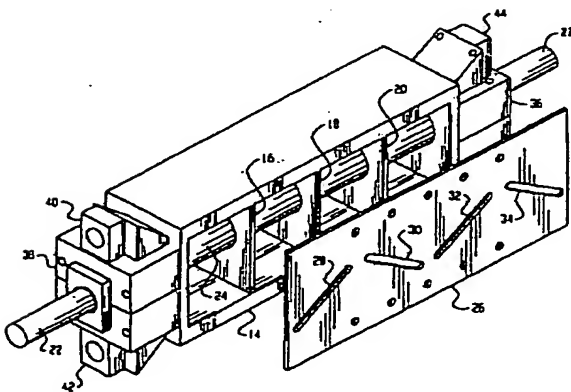
【0074】実施例2による無酸素プラズマ剥離処理を使い、プラズマ剥離の後に得られたSEMは、図7の“後”SEMで示されている。脱イオン水による洗浄は使用しなかった。“前”SEMと“後”SEMはフォトリソスト及び残留物が完全に除去されていることを明瞭に示している。更に、下地誘電体層、TEOS及びHSQは、無酸素プラズマによって有害な悪影響を受けなかった。

【0075】本発明の好ましい実施形態の今までの説明は図示と説明を目的として示してきた。完璧にしようとは思わないし、開示した正確な形で本発明を限定する意図もない。上記の技術内容を考えると明らかな改良又は変更は可能である。本発明の原理とその実際の適用に最善の説明をすることにより、普通の当業者がいろいろな実施形態での本発明の利用、及び目的とする特定の用途に適するようないろいろな改良が可能のように、実施形態を選んで説明した。全てのそのような改良及び変更は、正当で、適法でかつ公平であると認められる範囲に従って解釈されるとき、添付の特許請求の範囲によって限定される本発明の範囲内にある。

【図面の簡単な説明】

【図1】プラズマアッシャーで使用するマイクロ波エン

【図1】



22

*クローージャの斜視図である。

【図2】本発明で使用する好適なプラズマ反応室を模式的に示す断面図である。

【図3】図2で示すプラズマアッシャーの斜視図である。

【図4】CCD型分光計によりモニターした水素含有ガスを含む無酸素プラズマを用いたアッシング処理の過程で387nmでの光放出強度の時間経過を示す二次元グラフ図である。

【図5】図4で示すアッシング処理の過程で200nmから500nmの光放出強度の時間経過を示す3次元グラフ図である。

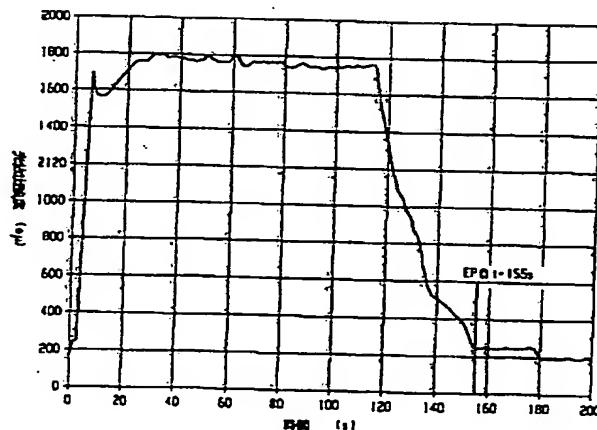
【図6】CCD型分光計によりモニターしたフッ素含有ガスを含む無酸素プラズマを用いたアッシング処理の過程で387nmでの光放出強度の時間経過を示す二次元グラフ図である。

【図7】本発明による無酸素プラズマ剥離処理の前と後のコンタクトホールの断面図及び平面図を示す走査電子顕微鏡写真の図である。

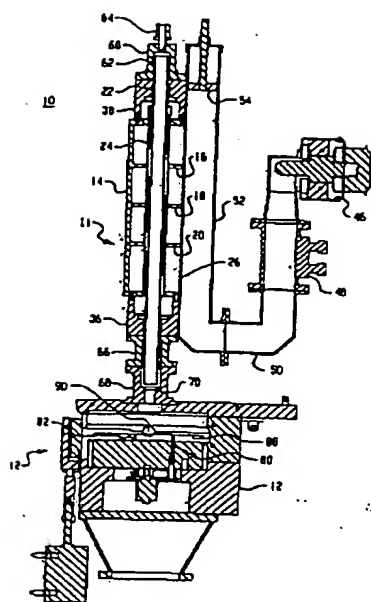
【符号の説明】

- 10 プラズマアッシャー
- 11 プラズマ発生室
- 12 プラズマ反応室
- 14 マイクロ波エンクロージャ
- 16, 18, 20 区画
- 22 プラズマ管
- 24 外側管
- 26 絞り板
- 46 マグネトロン
- 88 ウエハ
- 92 光放出分光手段
- 94 制御装置

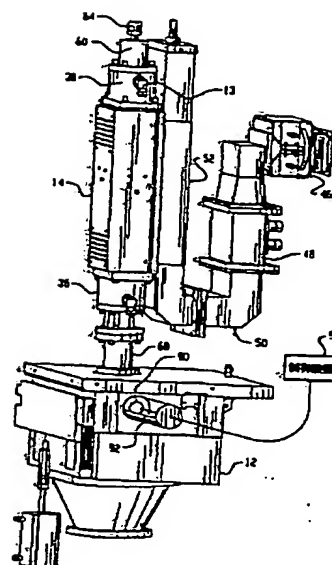
【図4】



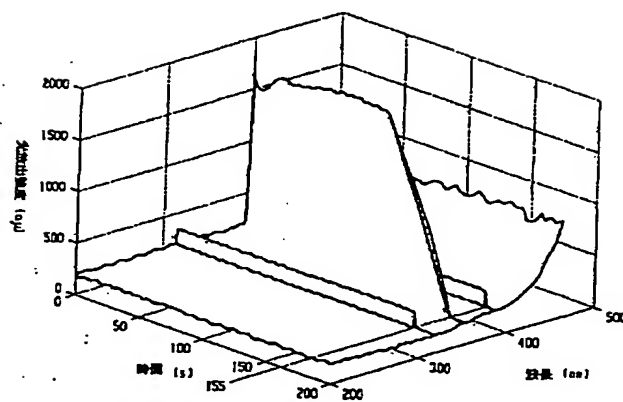
【図2】



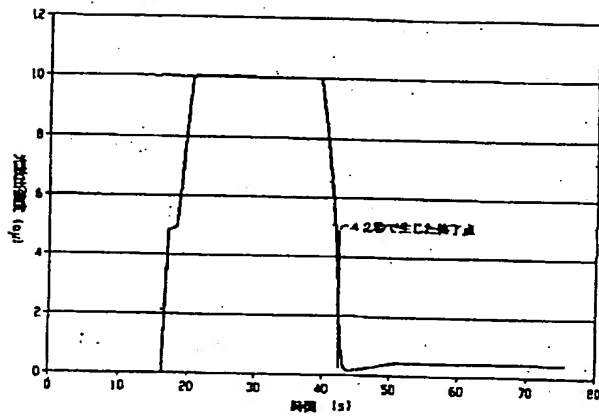
【図3】



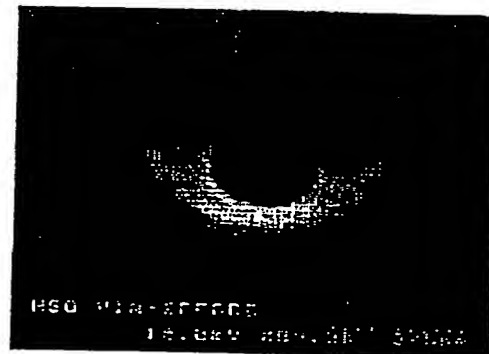
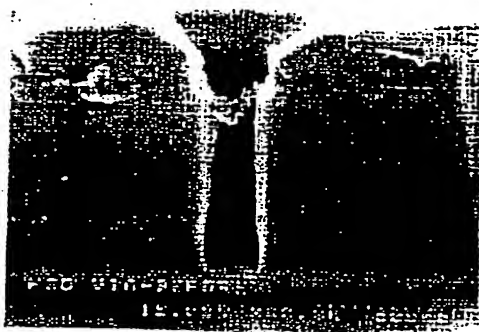
【図5】



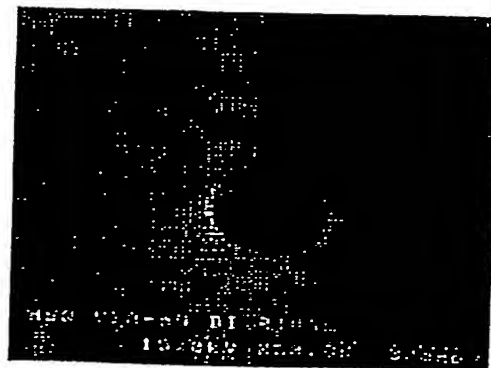
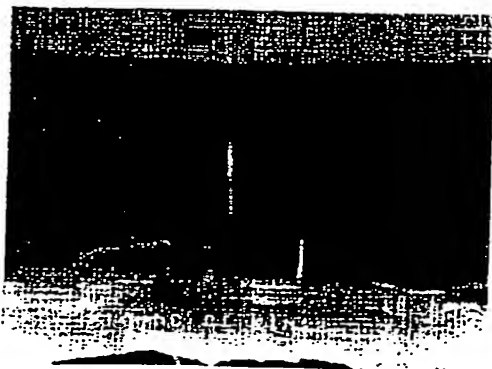
【図6】



【図7】



処理後



フロントページの続き

(72)発明者 パラニー サクスーベル
アメリカ合衆国 メリーランド 20878
ガイザースブルグ ウェスト サイド ド
ライブ 391 ナンバー 203

(72)発明者 リッキー アール. ラッフィン
アメリカ合衆国 メリーランド 20878
ガイザースブルグ ビー. オー. ボックス
8501

(72)発明者 アンドレ ギル カルドソ
アメリカ合衆国 メリーランド 20723
ローレル ステッピング ウエイ 9190